

環境配慮地盤固化技術の開発 ～粉体添加による地盤改良工法への適用検討～

大成建設 正○松井 秀岳 正 池上 浩樹 正 大脇 英司
正 藤原 斉郁 正 石井 裕泰 正 重光 達

1. 目的

2050 年カーボンニュートラル達成に向けた地盤改良分野の取組みとして著者らは、従来のセメントやセメント系固化材に代えて、製造時の CO₂ 排出量が少ない高炉スラグ主体の「結合材」を活用する環境配慮地盤固化技術の開発を進めている^{1),2)}。既存の粉体添加型の改良工法にこの低炭素結合材を適用する際には、種々の土質に対する強度発現性の把握が重要となることは当然ながら、粉体としての結合材の取り扱い性や既存の施工機械・施工手順による混合性・施工性について、従来との相違を確認することもまた重要となる。

本報ではこのような検討の一例として、粉体のままの結合材を原位置土に添加・混合する地盤改良工法を対象とした室内配合検討および実機試験施工を実施し、結合材の適用性を検証した結果を報告する。

2. 検討対象工法と使用材料

粉体添加で地盤を改良する各種工法のうち、ここでは土工用バケットを備えたバックホウで粉体と土を混合したうえで振動ローラにより転圧する浅層混合処理工法の一形態³⁾について現場施工の機会を得たため、同工法の室内配合検討・実機試験施工を行い、結合材の適用性を検証した。改良対象土は図 1 に示す粒度・基本物性の当該現場の粘性土で、検討には主材である高炉スラグ微粉末と刺激材・混和材から成る「セメント・ゼロ型」の結合材と、比較用の高炉セメント B 種を用いた。

3. 室内配合検討

粉体添加型の地盤改良工法では、粉体添加量が多いほど強度水準が高くなる一方、均一な混合にはより多くの手間と時間を要する。粉体添加量は改良目的に応じた強度等の要求性能を指標に事前の配合検討で決定されるが、ここでは一般的な添加量範囲で結合材を用いた場合の混合良否の確認を目的とし、技術資料³⁾の記載・事例を参考に検討配合を決定した。具体的には最小添加量 50kg/m³、最大添加量 350kg/m³を選定し、中間の 200kg/m³を加えた 3 水準の添加量を検討した（表 1）。粉体と土の混合には縦型ミキサを使用し、混練とかき落としを繰返しつつ計 5 分の混合を行ったが、目視確認の範囲では 2 粉体の混合性に有意な差は見られなかった。作製した混合土は粉体量で性状が異なったため、ここでは空隙を残さないように性状に応じたタッピングや静的な締固めを行ってプラスチックモールドに充填し、材齢 7、28 日まで 20℃環境で湿空養生した後に一軸圧縮試験に供した。結果として各ケースの供試体間（N=3）の密度差はほぼ生じなかった（各ケースの平均密度は図 5 参照）。

図 2 に配合検討における改良土強度と外割粉体添加量の関係を示す。両粉体で強度発現がなかった 50kg/m³

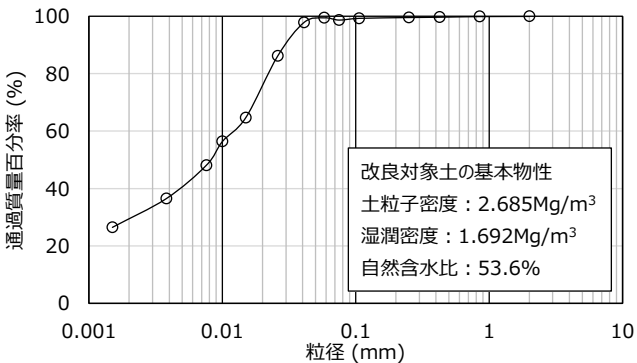


図 1 改良対象土の粒度分布とその他の基本物性

表 1 改良対象土 1m³に対する粉体添加量

粉体名	粉体添加量 (kg/m ³ , 外割)
高炉 B, 結合材	50, 200, 350

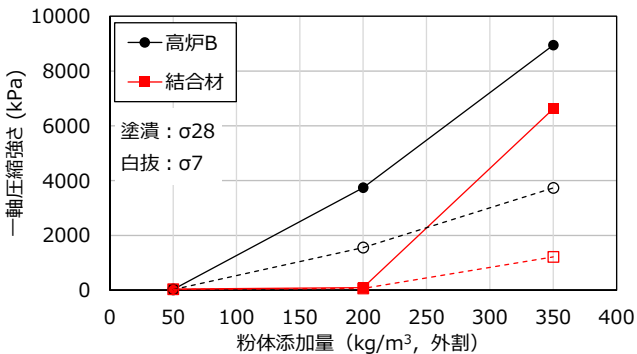


図 2 強度と粉体添加量の関係（配合検討）

キーワード 地盤改良, 浅層混合処理, 低炭素, カーボンニュートラル, CO₂ 排出量削減, 高炉スラグ
連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-814-7221

を除き全体として高炉 B で強度が高く、 200kg/m^3 では結合材で強度が発現しない等の差異が見られた。ここでは粉体ごとに整理した現場／室内強度比で、結合材と高炉 B の混合性を相対比較することとした。

4. 実機試験施工

図 1 の土を採取した現場にて、土工用バケットを備えたバックホウと振動ローラを使用した試験施工を実施した。結合材の適用性は施工状況の目視確認と採取コアの強度で検証することとし、室内配合検討と同じ表 1 の 6 ケースについて、以下の手順で改良体を造成した。

- ① 1m^3 の標線を目安に改良対象土をベッセルに充填し、あわせて計量した粉体をベッセル内に投入する (図 3(a))。
- ② バックホウで 10 分間混合し (図 3(b))、隅角部の土をスコップでかき出したうえで、さらにバックホウで 5 分間混合する。
- ③ 厚さ 30cm を目安として混合土を地表面に敷き均し、600kg 級ハンドガイド振動ローラにより 8 分間転圧する (図 3(c))。

ここで手順③・④は、高炉 B で最も混合に時間を要すると想定された 350kg/m^3 ケースで「十分混合されたこと」「転圧による沈下が収束したこと」を目視確認した仕様であり、これらを共通の施工方法とした。

目視確認の結果、今回の混合方法で混合不良が見られるケースはなく、両粉体の混合性に有意な差は認められなかった。なお技術資料³⁾には「固化材の色が目立たなくなる程度まで混合すること」を混合完了の目安にできる旨の記載があるが、結合材は白色に近いためセメント等に比べて目立ちやすく、目視で混合完了を判断する際は留意が必要と考えられる。

図 4 に採取コアの強度試験結果を示す。現場強度は粉体によらず多くのケースで室内強度を下回った。同図には室内検討で強度発現したケースの現場室内強度比を示しており、高炉 B は 0.107～0.351、結合材は 0.047、0.246 となった。一方これらの強度比は、図 5 に示す現場と室内の供試体の密度差の影響を含んでいると考えられ、高炉 B の強度比は過大に、結合材の強度比は過小にそれぞれ評価している可能性がある。このことを考慮すると、両粉体の強度比は 0.1～0.3 程度で同等と解釈でき、混合性の顕著な差はないものと判断される。

5. まとめ

環境配慮地盤固化技術の浅層混合処理工法への適用を念頭に、室内配合検討と実機試験施工を実施した。今回使用した土では結合材と高炉セメント B 種の強度発

現性が異なるものの、既存の施工機械・施工手順による混合性・施工性には有意な差がなく、浅層混合処理工法に対する低炭素結合材の適用性を確認することができた。引き続き本技術の実用展開を進め、 CO_2 排出量の削減に貢献したい。参考文献 1) 松井ら：環境配慮地盤固化技術の開発～地中連続壁工法への適用性検討～，土木学会第 77 回年次学術講演会，III-116，2022。2) 松井ら： CO_2 排出量を削減する「環境配慮地盤固化技術」の開発，大成建設技術センター報，Vol.55，No.8，2022。3) 一般社団法人セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第 5 版），2021。



(a) 土の計量と粉体の投入



(b) バックホウによる混合



(c) 振動ローラによる転圧

図 3 施工状況

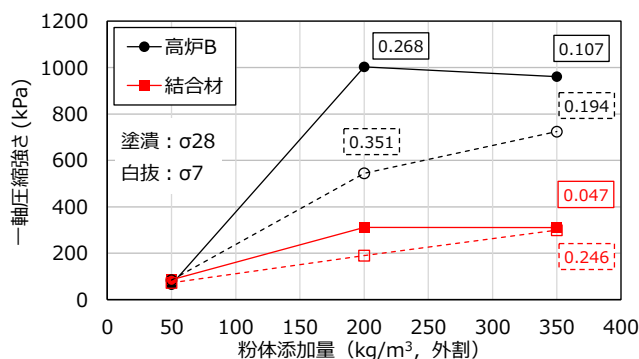


図 4 強度と粉体添加量の関係（実機試験施工）

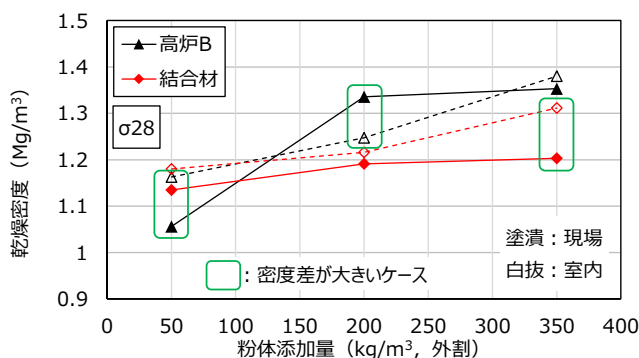


図 5 強度試験体の密度差（例として材齢 28 日）